



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS QUIXADÁ
CURSO DE TECNOLOGIA EM REDES DE COMPUTADORES**

WAGNER LUIZ BRAGA BEZERRA

**UMA SOLUÇÃO DE INFERÊNCIA DE CULPABILIDADE EM CENÁRIOS DE
ACIDENTES DE TRÂNSITO POR MEIO DE VANETS**

**QUIXADÁ
2019**

WAGNER LUIZ BRAGA BEZERRA

UMA SOLUÇÃO DE INFERÊNCIA DE CULPABILIDADE EM CENÁRIOS DE
ACIDENTES DE TRÂNSITO POR MEIO DE VANETS

Monografia apresentada ao Curso de Redes de Computadores do Campus Quixadá da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Tecnólogo em Redes de Computadores.

Orientador: Prof. Me. Alisson Barbosa de Souza

QUIXADÁ

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- B469s Bezerra, Wagner Luiz Braga.
Uma solução de inferência de culpabilidade em cenários de acidentes de trânsito por meio de vanets /
Wagner Luiz Braga Bezerra. – 2019.
49 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá,
Curso de Redes de Computadores, Quixadá, 2019.
Orientação: Prof. Me. Alisson Barbosa de Souza.
1. Acidentes de trânsito. 2. Culpabilidade. 3. Redes ad-hoc veiculares. I. Título.

CDD 004.6

WAGNER LUIZ BRAGA BEZERRA

UMA SOLUÇÃO DE INFERÊNCIA DE CULPABILIDADE EM CENÁRIOS DE
ACIDENTES DE TRÂNSITO POR MEIO DE VANETS

Monografia apresentada ao Curso de Redes de Computadores do Campus Quixadá da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Tecnólogo em Redes de Computadores

Aprovada em: __/__/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Alisson Barbosa de Souza (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Antônio Joel Ramiro de Castro
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Me. Paulo Antonio Leal Rego
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Este trabalho é dedicado a todos aqueles que em algum momento se propuseram a me passar conhecimento: docentes e funcionários da Universidade. Dedico aos meus amigos, que sentiram minha ausência necessária. Dedico à minha família; em especial minha paciente esposa Beatriz Ricardo Braga.

AGRADECIMENTOS

Dirijo meus agradecimentos ao Prof. Me. Alisson Barbosa de Souza, meu orientador, que apoiou minha ideia inicial e trouxe grande contribuição, mostrando disponibilidade para ajudar em todos os momentos. Além de professor mostrou-se um ser humano ímpar, que me incentivou e aconselhou em momentos cruciais.

Gostaria de agradecer aos outros membros da banca avaliadora, Prof. Me. Paulo Antonio Leal Rego e Prof. Dr. Antônio Joel Ramiro de Castro, que não apenas dispuseram-se a avaliar este trabalho, como impulsionaram esta ideia através de recomendações valiosas.

Por último, dirijo um agradecimento especial aos meus familiares, para os quais não me fiz presente em muitos momentos, inclusive difíceis, durante a execução deste trabalho. Minha linda esposa, que muito me ajudou, sendo minha companheira nas noites em claro para fins de estudo direcionado e desenvolvimento deste trabalho.

*"A imaginação é mais importante que o conhecimento",
"Se, a princípio, a ideia não é absurda, então não há esperança para ela".*

(Einstein, Albert)

RESUMO

Acidentes de trânsito são fatos corriqueiros em meio ao grande número de veículos lutando por espaço nas vias públicas. Pode-se observar que questões direcionadas a quem é o culpado pela colisão também passaram a ser comuns gerando custos pela necessidades de perícias técnicas nos locais dos acidentes, disputas judiciais e diversos outros transtornos. Levando em conta esta realidade este trabalho busca realizar uma análise e criar uma solução que auxilia na resolução destes problemas, apontando o causador da referida colisão. Feita a inferência de culpa apresenta-se o meio de comunicação em VANETs para envio dos dados a fim de garantir que a informação seja enviada, independentemente de onde os veículos possam estar. Tendo como base métodos de perícia forense que permitem realizar um precisa reconstrução de colisões traseiras e colisões laterais, são definidos algoritmos para inferir a culpa nestes cenários utilizando-se de dados gerados por meio de simuladores. Observando os mesmos cenários é feita uma análise do parecer de especialistas, que realizam uma avaliação por meio de imagens, vídeos e questionário de múltipla escolha. É realizada uma comparação dos resultados obtidos. Através da comparação pode-se perceber que a inferência de culpa munida de informações precisas é possível através da solução proposta. Pode-se verificar também, por meio da aplicação dos algoritmos, que existem fatores mais importantes que outros na definição de culpa em diferentes tipos de colisão.

Palavras-chave: Acidentes de Trânsito. Culpabilidade. VANETs.

ABSTRACT

Traffic accidents are common facts amid the large number of vehicles fighting for space on public roads. It can be observed that questions directed to who is to blame for the collision also became common generating costs due to the need for technical expertise at the accident sites, legal disputes and various other disorders. Taking this reality into account, this paper seeks to perform an analysis and create a solution that assists in solving these problems, pointing out the cause of the collision. Once the guilt inference is made, the means of communication are presented in VANETs to send the data to ensure that the information is sent, regardless of where the vehicles may be. Based on forensic methods that allow accurate reconstruction of rear and side collisions, algorithms are defined to infer guilt in these scenarios using data generated by simulators. Observing the same scenarios is made an analysis of expert opinion, which perform an evaluation through images, videos and multiple choice questionnaire. A comparison of the results obtained is performed. Through comparison it can be seen that the inference of guilt with accurate information is possible through the proposed solution. It can also be verified, by applying the algorithms, that there are more important factors than others in defining blame in different types of collisions.

Keywords: Traffic Accidents. Culpability. VANETs.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Cenário de VANETs. Fonte:(ALVES <i>et al.</i> , 2009).....	17
Figura 2	- <i>Event Data Recorder Imaging</i> . Fonte:(Copyright 2018 Kinetcorp Inc,)	20
Figura 3	- <i>Bosch Car Data Retrieval</i> . Fonte:(Crash Data Group Inc, 2018).....	24
Figura 4	- Diagrama de Sistema EDR. Fonte:(PLANTE, 2017).....	24
Figura 5	- Bloco de armazenamento no veículo. Fonte: Elaborada pelo Autor.....	27
Figura 6	- Bloco de armazenamento no veículo. Fonte: Elaborada pelo Autor.....	28
Figura 7	- Tabela de tipos de colisão. Fonte: Elaborada pelo Autor.....	29
Figura 8	- Ordem dos Processos. Fonte: Elaborada pelo Autor.....	31
Figura 9	- Vídeo do cenário e imagens da colisão conforme apresentada no questionário. Fonte: Elaborada pelo Autor.....	36
Figura 10	- Imagem das perguntas feitas para cada cenário conforme apresentada no questionário.....	37
Figura 11	- Tabela de Comparação de Resultados de Tipos de Colisão. Fonte: Elaborada pelo Autor.....	39
Figura 12	- Tabela de Comparação de Resultados de Culpabilidade. Fonte: Elaborada pelo Autor.....	40
Figura 13	- Gráfico de Comparação de Resultados de Culpabilidade. Fonte: Elaborada pelo Autor.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CTB	Código de Trânsito Brasileiro
CCB	Código Civil Brasileiro
VANET	<i>Vehicular Adhoc Network</i>
V2V	<i>Vehicle-to-vehicle</i>
V2I	<i>Vehicle-to-infrastructure</i>
RSU	<i>Roadside Unit</i>
GPS	<i>Global Positioning Systems</i>
EDR	<i>Event Data Recorder</i>
NS-3	<i>Network Simulator 3</i>
SUMO	<i>Simulator Of Urban Mobility</i>
WAVE	<i>Wireless Access in The Vehicular Environment</i>
WSMP	<i>WAVE Short Message Protocol</i>
DSRC	<i>Dedicated Short-Range Communications</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
AMC	<i>Autarquia Municipal de Trânsito</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral.....	15
2.2 Objetivos Específicos	16
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1 VANETs (<i>Vehicular Adhoc Networks</i>).....	16
3.2 EDR (<i>Event Data Recorder</i>).....	18
3.3 Culpabilidade e Métodos Forenses.....	19
3.4 Simuladores.....	21
4 TRABALHOS RELACIONADOS.....	22
5 PROPOSTA	26
5.1 Etapas.....	26
5.1.1 Gravação de Dados	26
5.1.2 Métricas.....	27
5.1.3 Envio dos Dados (<i>Comunicação</i>).....	30
5.2 Ordem dos Processos.....	31
5.3 Adaptação Para Simulação.....	31
6 METODOLOGIA.....	33
6.1 Testes e Simuladores.....	33
6.2 Simulações e Algoritmos.....	34
6.3 Questionário.....	35
7 RESULTADOS.....	38
7.1 Comparação de Resultados.....	38
7.2 Análise dos Resultados.....	40
8 CONCLUSÃO.....	42
9 TRABALHOS FUTUROS.....	43
REFERÊNCIAS.....	44

1 INTRODUÇÃO

Os meios de transporte tornaram-se equipamentos essenciais para podermos realizar nossas atividades de trabalho, estudo e lazer. Em meio ao movimento destes transportes, que lutam por espaço nas vias públicas, acidentes de trânsito são fatos que, infelizmente, passaram a ser vistos como corriqueiros.

Colisões traseiras são exemplos de cenários que geram um grande número de questões judiciais, devido à legislação que regula a causa. O artigo 29, inciso II, do Código de Trânsito Brasileiro (CTB) diz:

"o condutor deverá guardar distância de segurança lateral e frontal entre o seu e os demais veículos, bem como em relação ao bordo da pista, considerando-se, no momento, a velocidade e as condições do local, da circulação, do veículo e condições climáticas". Já o artigo 42 traz: "Nenhum condutor deverá frear bruscamente seu veículo, salvo por razões de segurança", o artigo 43, bem como o seu inciso III, regulam: "Ao regular a velocidade, o condutor deverá observar constantemente as condições físicas da via, do veículo e da carga, as condições meteorológicas e a intensidade do trânsito, obedecendo aos limites máximos de velocidade estabelecidos para a via, além de:"(...) III - indicar, de forma clara, com a antecedência necessária e a sinalização devida, a manobra de redução de velocidade" (BRASIL, 2008).

As jurisprudências atuais trazem como interpretação mais aceitável da lei para casos de acidentes envolvendo colisões traseiras, àquela que atesta como responsável presumido, seguindo o proposto no artigo 29 supracitado, o motorista que seguindo outro veículo colide em sua traseira. No entanto, baseando-se pelo proposto nos artigos 42 e 43

do CTB, essa presunção de culpa pode ser contestada quando existem provas claras que a excluam.

Existe um número muito maior de cenários a serem considerados e, partindo desta premissa, este trabalho objetiva auxiliar na resolução das discussões acerca do referido assunto propondo uma solução de inferência de culpabilidade em cenários de acidentes de trânsito por meio de VANETs. Outra questão a ser tratada é o cometimento de fraudes contra companhias de seguros automotivos. Um cenário comum para este tipo de colisão é a assunção da culpa por parte do condutor segurado em acidentes causados por terceiros a fim de que a seguradora forneça cobertura do sinistro para ambas as partes. Esse tipo de fraude além de gerar grandes prejuízos às companhias de seguro, é responsável por um aumento considerável no preço cobrado pelas apólices de veículos automotores.

A função deste trabalho é auxiliar através de um processo de análise de informações acerca das condições do acidente, diretamente coletadas dos veículos envolvidos, o processo de inferência de culpa, e diminuir a necessidade de perícia técnica no local do ocorrido, gerando redução de custos e agilidade para a solução de questões.

No desenvolvimento desta solução, sensores são utilizados para a definição de um *tempus collectio* (momento de início e fim da coleta de informações), as informações são coletadas utilizando dispositivos EDR (event data recorder) instalados no veículo, e depois enviadas a um servidor instalado na nuvem de onde podem ser analisadas respeitando métricas de reconstrução de acidentes. Sensores de geolocalização são utilizados para definir o perímetro onde os veículos possam ter vínculo com as causas do acidente.

Levando em conta as dificuldades de comunicação impostas pelos ambientes de trânsito, nossa solução, como já foi dito, é implementada com uso de VANETs (JIANG; DEL-GROSSI, 2008) (do inglês *Vehicular AdHoc Networks*) mais precisamente protocolo IEEE 802.11p uma vez que este tipo de protocolo permite que a coleta de informações ocorra mesmo em ambientes onde não existam estruturas de comunicação direta do veículo com a rede externa. O conceito de VANETs será explorado no decorrer deste trabalho para

melhor entendimento da proposta. O envio desses dados de maneira remota, visa prevenir ações que busquem adulterar informações coletadas pelos dispositivos.

Para atestar o caráter efetivo da solução proposta, são utilizadas cenários em simuladores para testes fazendo uma análise dos dados coletados e comprando-os com uma análise visual do cenários. Dessa forma, busca-se atestar a necessidade deste tipo de solução para correta inferência de culpabilidade. Busca-se analisar também quais os fatores cruciais para definição da culpa em colisões traseiras e colisões laterais. Será considerado um ambiente urbano, onde o grande fluxo de veículos causa inúmeros acidentes e os meios de comunicação sofrem perdas, devido à quantidade de barreiras construídas (prédios, pontes e outras estruturas). Para simularmos este ambiente são utilizados os simuladores NS-3 (*Network Simulator 3*) e SUMO (*Simulator of Urban Mobility*). Ao final são apresentados os resultados preliminares que servirão de base para o desenvolvimento e implementação de uma ferramenta em um ambiente real que possa prover um futuro uso cotidiano da solução por usuários, empresas e até mesmo órgãos reguladores de trânsito.

Nesse trabalho, temos o objetivo de auxiliar não apenas órgãos de controle de trânsito e empresas privadas (como seguradoras), mas também motoristas, amparando-os com informações exatas a fim de garantir seus direitos e deveres.

As Seções seguintes são apresentadas da seguinte forma: na Seção 2 são explanados os objetivos deste trabalho; na Seção 3 são explorados os conceitos chaves deste trabalho na fundamentação teórica; na Seção 4 são apresentados os trabalhos relacionados e uma comparação com a solução aqui proposta; na Seção 5 é apresentada a nossa proposta, com as tecnologias utilizadas e os detalhes de execução dos algoritmos; na seção 6 é apresentada a metodologia; na Seção 7 são expostos os resultados e uma análise dos mesmos; na Seção 8, é apresentada uma conclusão deste trabalho; na Seção 9 o trabalho se encerra com uma prévia do que se pretende apresentar em trabalhos futuros para aprimoramento da solução aqui proposta.

2 OBJETIVOS

Nesta Seção será descrito o objetivo geral deste trabalho, bem como são enumerados os objetivos específicos que o compõem de forma clara e sucinta.

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é apresentar um método que realize inferência de culpabilidade, definir fatores determinantes e verificar métricas assertivas que possam ser utilizadas na criação de uma solução para questões envolvendo colisões de veículos automotores, garantindo informações precisas a respeito dos referidos eventos. Busca-se acima de tudo dar o primeiro passo para criação de uma ferramenta que servirá de auxílio para que a culpa pelo acidente seja atribuída a quem de fato é o responsável. Pretende-se proporcionar um auxílio às partes interessadas na mitigação do número de questões judiciais, redução de custos e prejuízos, bem como a prevenção de fraudes.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Analisar maneira de envio remoto dos dados para agilizar os processos e prevenir congestionamentos de trânsito resultantes de acidentes de trânsito;
- b) Criar cenários de colisões laterais e colisões traseiras para uso nas simulações;
- c) Identificar qual o fator essencial para definição da culpa em cada tipo de colisão;
- d) Verificar a assertividade da solução proposta na definição da culpabilidade.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

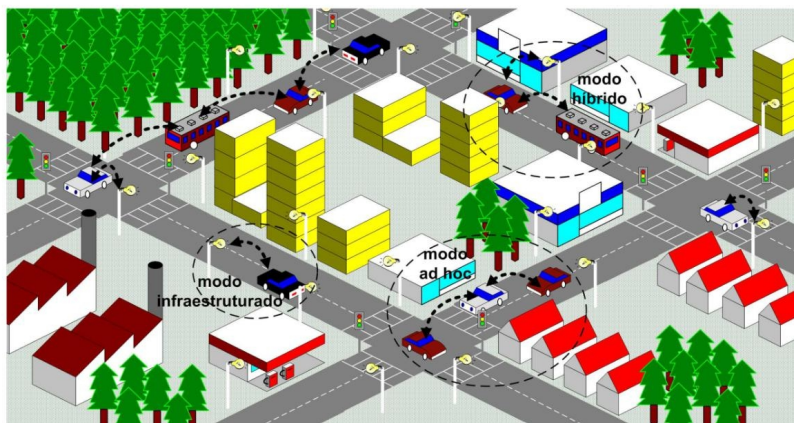
Nesta Seção faremos uma explanação dos principais conceitos utilizados na produção deste trabalho, de modo que se possa compreender a ideia proposta com maior clareza.

3.1 VANETs (*Vehicular Adhoc Networks*)

Hartenstein e Laberteaux (2009) define como função básica de VANETs levar aos veículos uma tecnologia de redes sem fio local de baixo custo (WLAN), conectando computadores portáteis e a internet. No entanto, é fato que estes ambientes veiculares têm desafios e exigências muito específicas. A mobilidade dos nós, bem como a velocidade do trânsito dos veículos e, em alguns ambientes, a quantidade limitada de dispositivos com suporte a este tipo de tecnologia são alguns dos principais problemas geradores de estudos neste campo.

A comunicação de VANETs pode ser feita de duas formas: V2V (*Vehicle-to-vehicle*) onde os veículos se comunicam diretamente uns com os outros por meio de saltos através dos nós até chegar ao destino, ou V2I (*Vehicle-to-infrastructure*) onde as informações são enviadas pela internet através de RSUs (Roadside Units), estruturas situadas nas bordas das vias que fazem esta ligação; existe ainda uma abordagem híbrida que adota os dois tipos de comunicação e é mais viável para uso neste trabalho. Outro ponto importante é que a localização do nós em VANETs é importante como em qualquer outra rede, de modo que os protocolos de roteamento possam ser devidamente aplicados na rede, assim, tecnologias de localização como o GPS (Global Positioning Systems), entre outras, são comumente utilizadas em VANETs. A figura a seguir, retirada do trabalho de Alves et al. (2009) mostra como funcionam as comunicações V2V, V2I e híbrida.

Figura 1 – Cenário de VANETs.



Fonte:(ALVES et al., 2009)

Atualmente, a definição adotada para VANETs é a do padrão IEEE 802.11p WAVE (*Wireless Access in the Vehicular Environment*) que é uma extensão da família de protocolos IEEE 802.11 de redes sem fio. A arquitetura WAVE possui duas pilhas de protocolos, uma padrão da internet, baseada no IP, e outra baseada no protocolo WSMP (*WAVE Short Message Protocol*), projetado para comunicação em ambientes veiculares. As mensagens do WSMP podem ser enviadas em qualquer dos canais DSRC (*Dedicated Short-Range Communications*), enquanto datagramas IP só podem ser enviados nos canais de serviço. Além disso quadros de gerenciamento são enviados no canal de controle. O WSMP permite que as aplicações controlem diretamente características da camada física, como o canal e a potência de transmissão utilizados para enviar as mensagens. (ALVES et al., 2009)

As aplicações de redes veiculares podem ser divididas em três classes básicas segundo Alves et al. (2009): segurança no trânsito, que se preocupa em reduzir o número e a gravidade dos acidentes através da troca de informações entre os veículos; entretenimento, que busca atingir o conceito de ubiquidade de acesso à internet proposto pela maioria das aplicações de entretenimento; e assistência ao motorista, que busca auxiliar a condução do veículo a partir da disponibilização de informações úteis. Baseado nesta divisão de classe pode-se afirmar que a solução proposta neste trabalho se encaixa na classe de assistência ao motorista, visto que não ajuda na mitigação de acidentes de trânsito, nem tampouco na execução de aplicações de entretenimento. Todavia este trabalho é ferramenta útil na definição da culpa e na rapidez e confiabilidade de solução de um problema crucial nos ambientes de trânsito, o que dá ao motorista certa segurança contra imprudências de terceiros, por exemplo.

3.2 EDR (Event Data Recorder)

EDRs são dispositivos acoplados aos veículos que buscam guardar informações precisas sobre determinados eventos, a fim de possibilitar uma posterior avaliação destes eventos. Um bom exemplo destes dispositivos seriam as caixas-pretas de aviões. Uma outra

aplicação é o uso em veículos terrestres, e é justamente esta a aplicação que é útil a este trabalho (GABLER; HINCH; STEINER, 2008).

Algumas montadoras de veículos automotores disponibilizam equipamentos EDR como item de fábrica para seus veículos. Em alguns países o seu uso é imposição legal. Também podemos ver como uma prática comum em algumas seguradoras a instalação destes dispositivos em seus veículos segurados.

Informações como velocidade, aceleração, frenagem, temperatura do motor, quantidade de ocupantes do veículo e, em alguns casos, até sua localização podem ser obtidas através destes dispositivos. A análise forense destas informações permite remontar situações ocorridas em seu período de coleta. Para este trabalho, o EDR é essencial para a coleta dos dados necessários para a reconstrução do acidente, o que garantirá a correta inferência de culpa do veículo causador do acidente.

Existem diversas patentes para dispositivos EDR, inclusive utilizando câmeras de vídeo para auxílio desta função, como a supracitada Vehicle Data Recorder (RAYNER, 2002). Existem também diversas formas de aplicação desta tecnologia, como por exemplo, a proposta no trabalho de Takeda et al. (2012), que utiliza dados da condução de determinado condutor e a partir disto define situações consideradas de risco, a fim de que o motorista as observe e as evite.

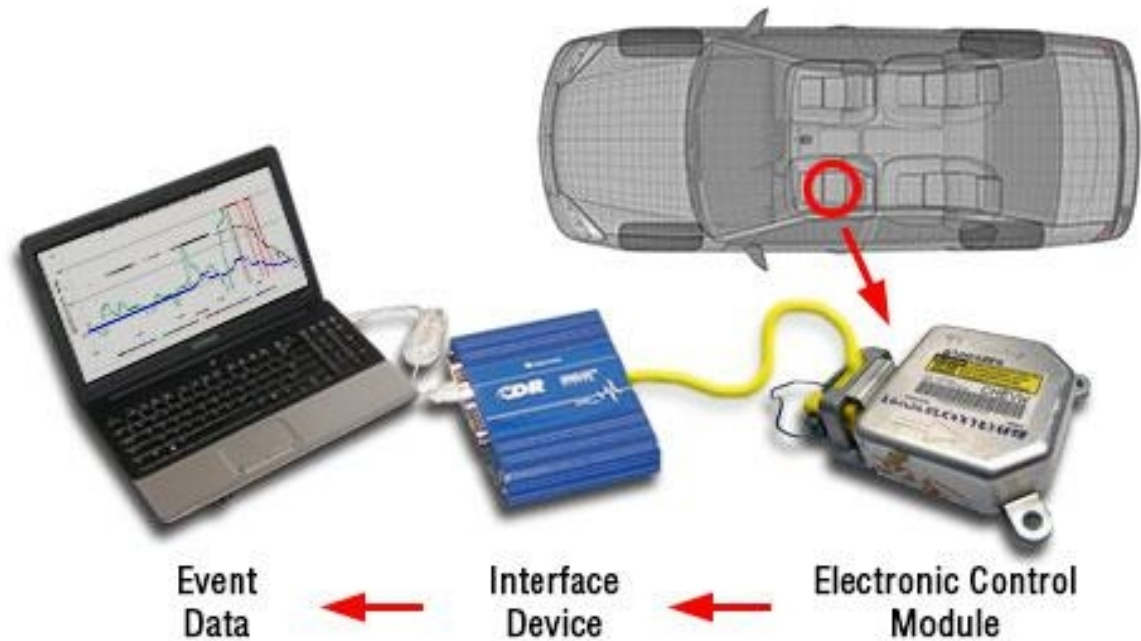
A figura 2, abaixo, trás uma representação de onde fica instalado o módulo de EDR (Eletronic Control Module), bem como a interface do dispositivo (Interface Device). Mostra também a representação de um computador recebendo os dados do evento (Event Data).

3.3 Culpabilidade e Métodos Forenses

O conceito de culpabilidade é o preceito do qual nasceu a ideia deste trabalho. Temos como meta, realizar a inferência de culpa em um acidente de maneira objetiva e automática, diminuindo a necessidade de um caráter subjetivo atrelado a fatores como testemunhas, relatos de envolvidos e até opinião de um técnico vistoriador. Essa abordagem garante efetividade e confiabilidade na resolução das muitas questões que

envolvem estes cenários, este é o objetivo principal deste trabalho. Existem leis que regem estas situações a fim de definir as responsabilidades a serem imputadas ao causador do acidente. Dessa forma esta auxiliará na aplicação destas leis para casos em que todos os envolvidos gozem de suas capacidades e possam ser responsabilizados. Segundo Azevedo (2008) o Código Civil Brasileiro (BRASIL, 2002) baseia-se na Teoria da Culpa para definição do conceito de culpa adotado na imputação de responsabilidade. Partindo desta definição é dito que a culpa pode caracterizar uma negligência (omissão), imprudência (ação), e imperícia (conduta irregular no trabalho). É exigida a comprovação para que ao réu seja imputada a responsabilidade pelo dano.

Figura 2 – Event Data Recorder Imaging.



Fonte:(Copyright 2018 Kinetcorp Inc.)

O CTB (BRASIL, 2008) não tem uma abordagem própria para a definição de culpa e adota a definição do Código Civil Brasileiro (BRASIL, 2002). Quando existe uma infração que acarreta em acidente, aquele infrator é automaticamente tido como culpado pelo acidente, visto que encontrava-se em situação ilegal no momento do ocorrido. No entanto, em situações onde não existe um claro cometimento de infração a solução da questão é feita através de métricas forenses, que utilizam dados dos veículos, bem como informações acerca da conduta do motorista para definir o culpado. O CTB por si não é capaz de enumerar todas as situações de cenários de acidentes de trânsito e descrever o culpado, por isso esta outra abordagem faz-se necessária.

Estes conceitos são utilizados como base para o a solução aqui proposta, todavia, buscamos excluir o caráter subjetivo e dar foco apenas a inferência de culpa causal do acidente, não observando fatores como a responsabilidade civil que são de competência

jurídica. Em resumo, pode-se dizer que neste trabalho tratamos como culpado aquele que é definido como veículo causador do acidente, independente das faculdades de seu condutor e de sua responsabilidade legal.

Neste trabalho é necessário que as informações colhidas passem por um método, mais precisamente um algoritmo, que as organize da maneira necessária e faça a análise comparativa com alguns parâmetros, para que então a culpabilidade possa ser definida.

Diversos métodos são aplicados, de acordo com o tipo de acidente, utilizando fundamentos de física e cálculos matemáticos para que se reconstrua o acidente e possa definir a culpa. No entanto, muita informação valiosa a esta análise pode ser perdida devido à constante mutação das condições de trânsito, levando o vistoriador a se utilizar de métodos de caráter subjetivo, como depoimentos de testemunhas e envolvidos no acidente, que muitas vezes são contraditórios.

De posse das informações necessárias, métodos subjetivos podem ser excluídos da análise, trazendo maior confiabilidade a mesma. Os métodos forenses existentes são bastante efetivos, e o que se busca neste trabalho é permitir a aplicação dos mesmos sem interferência externa, visto que estarão supridos de todos os dados importantes.

Franck e Franck (2009) expõe em sua obra um arcabouço completo de métodos e técnicas utilizadas pela engenharia de reconstrução de acidentes de trânsito. É feita uma demonstração de diversas situações e aplicações de fórmulas para as reconstruções que são utilizadas pelos engenheiros e também de algumas tecnologias, em uma visão geral, que auxiliam estas remontagens dos eventos. Fica claro que quanto maior a precisão das informações, mas fácil a aplicação das fórmulas. Dados como velocidade, direção, aceleração, força do impacto, entre outros, são de extrema importância neste ramo da engenharia.

Com o auxílio das técnicas vistas na bibliografia utilizada, podemos perceber que existem informações que são base para definição do tipo de colisão e do culpado.

Informações como velocidade e sentido de cada veículos no tempo pré e pós colisão são cruciais para respondermos a estes questionamentos.

3.4 Simuladores

Neste trabalho são utilizados dois simuladores. O SUMO (KRAJZEWICZ et al. 2002) é um simulador de mobilidade que permite trazer proximidade da movimentação dos nós, para a movimentação real de veículos na via. Este simulador permite que sejam criadas vias e que sejam inseridos veículos nessas vias. À estes veículos são atribuídas rotas que podem ser predefinidas ou aleatórias. Este simulador é o primeiro passo para criação das simulações, visto que através dele podemos criar os cenários de colisões.

O outro simulador utilizado é o NS-3 (RILEY, GEORGE F et al. 2010). Neste simulador é possível inserir as configurações de rede. Para este trabalho as definições de VANETs são inseridas por meio de um módulo próprio oferecido pelo simulador. No NS-3 é possível, também, realizar uma programação mais direta sobre os cenários e tratar das informações, como velocidade e posicionamento, diretamente no código. Neste trabalho a detecção da colisão e a definição do tipo de colisão são tratadas no NS-3. Para definição do culpado, o NS-3 é essencial, visto que é através deste simulador que são colhidas as informações que são necessárias à aplicação dos algoritmos criados na linguagem de programação “python”.

4 TRABALHOS RELACIONADOS

Durante as pesquisas para o desenvolvimento desta dissertação foram estudadas diversas tecnologias que possuem objetivos semelhantes aos aqui propostos. Alguns destes trabalhos serviram de base para as ideias descritas no trabalho proposto, no entanto se utilizam de paradigmas que os diferem de nossa proposta.

Partindo do paradigma de comunicação em VANETs, o trabalho intitulado “*Traffic monitoring and incident detection through VANETs*” (FELICE et al., 2014) propõe uma solução para monitoramento de tráfego e detecção de acidentes. O trabalho traz duas abordagens que se baseiam em informações como a velocidade dos veículos e a

densidade do fluxo de tráfego para detectar incidentes. São realizadas medições em períodos curtos de tempo que avaliam as condições do tráfego em uma determinada via. Este trabalho avalia também, o funcionamento da solução em cenários onde nem todos os veículos estão equipados com dispositivos DSRC (*Dedicated Short range Communications*). Assim como na solução proposta neste trabalho, (FELICE et al., 2014) utilizou o protocolo 802.11p, no entanto, o algoritmo proposto por ele não teria eficácia na solução dos problemas aqui relatados. Além disso o foco principal de (FELICE et al., 2014) é avaliar o desempenho de algumas abordagens das quais ele trata, não levando em conta aplicações práticas, e sem ter como objetivo o armazenamento ou coleta de quaisquer dados para reconstrução do acidente. Este trabalho não demonstra preocupação na definição de culpado, realizando estritamente a detecção do acidente para fins de monitoramento.

Seguindo neste contexto, o trabalho A VANET-based emergency vehicle warning system (BUCHENSCHWEIT et al., 2009) propõe um sistema que se utiliza de veículos de emergência (ambulâncias, viaturas, etc.) para enviar alertas aos demais veículos acerca de incidentes, a fim de que possam definir novas rotas e até evitar novos acidentes. Muitos outros trabalhos têm objetivos semelhantes a este, tendo seu foco voltado a alertas ou prevenção de acidentes.

Quando se trata de coleta de dados e envio de informações, existem algumas soluções já em uso no mercado em alguns países. A solução Vehicle data recorder (RAYNER, 2002) é um dispositivo formado por sensores e equipamentos de vídeo, que coleta as informações do veículo, tais como velocidade, aceleração, geolocalização, etc. O acionamento da coleta se dá pelo disparo de um gatilho associado aos sensores. A reconstrução do acidente se dá pela análise conjunta dos quadros de imagem capturados pelas câmeras e as informações obtidas por meio dos demais sensores. Outro trabalho bastante semelhante é o Vehicle Crash Data Recorder (FERGUSON, 2001) que parte dos mesmos princípios, mas colhe um número maior de informações, pois dispõe de uma

quantidade maior de sensores. Existem inclusive dispositivos que são amplamente adotadas por montadoras de veículos, por iniciativa própria ou por força de lei, podendo ser citado como exemplo o dispositivo “*Bosch Crash Data Retrieval Tool Crash Data Group Inc*”(2018), que por ser um dispositivo proprietário não tem disponível informações precisas acerca de sua construção, é relatado apenas como um dispositivo EDR em seu próprio endereço na internet. É importante observar que esta ferramenta recolhe informações apenas do veículo em que está instalada e não aplica nenhum tipo de método para definição do culpado. Abaixo, na Figura 3, é mostrada uma representação do dispositivo e seus módulos. Até o momento, o trabalho que mais se aproxima da solução aqui proposta é o proposto em “*Vehicle event recorder systems and networks having integrated cellular wireless communications systems*” (PLANTE, 2017), que parte do mesmo princípio de coleta de dados, mas utiliza redes celulares para envio das informações coletadas a um servidor de internet. O referido trabalho propõe um sistema de coleta onde os sensores são auxiliados por câmera de vídeo, assim como nos outros, no entanto o sistema está ligado a um aparelho celular que envia as informações para o *gateway*, que na sequência os envia pela internet ao servidor.

Figura 3 – Bosch Car Data Retrieval.

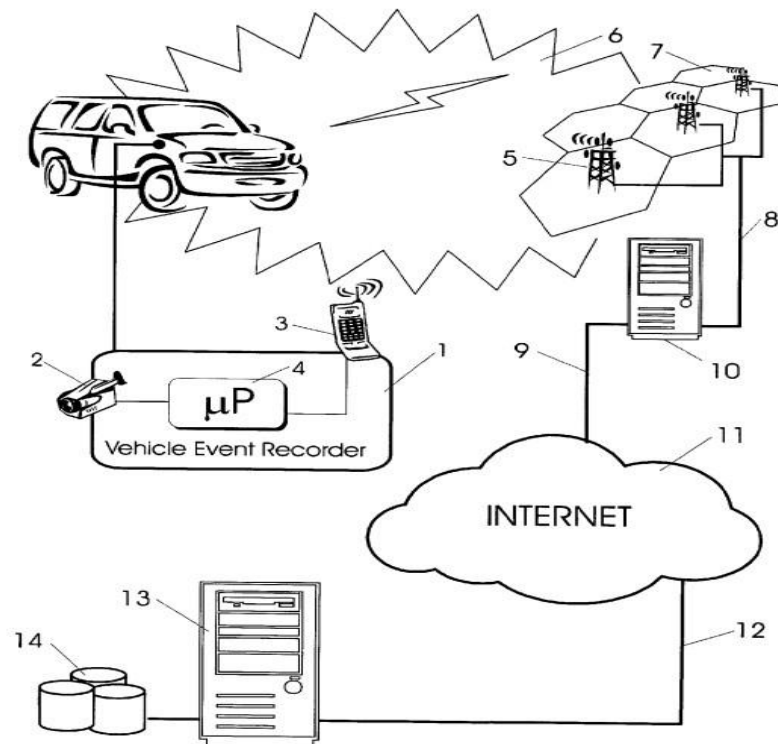


Fonte:(Crash Data Group Inc, 2018)

A solução aqui proposta, tem conceitos que o aproximam deste trabalho, no entanto utiliza VANETs como protocolo de comunicação, o que garantirá o envio da informação mesmo em locais que não estejam ao alcance de estruturas físicas de rede.

Abaixo temos um diagrama esquemático de sistemas EDR, incluindo um gravador de eventos de veículos em relação a uma rede composta. Esta representação foi retirada do trabalho de Plante (2017).

Figura 4 – Diagrama de Sistema EDR.



Fonte: (Plante, 2017)

Outra diferença importante dos trabalhos relacionados para o a proposta deste trabalho, é a abordagem utilizada por esta solução de utilização de perímetro de coleta de dados. Neste trabalho, após a detecção do incidente são colhidas informações de todos os veículos no perímetro da ocorrência, a fim de verificar quais os veículos estão envolvidos diretamente ou indiretamente no acidente. Além disso a utilização das informações para

questões forenses é abordada apenas pelo dispositivo *Bosch Crash Data Retrieval Tool* *Crash Data Group Inc* (2018), que por ser proprietário não disponibiliza de forma clara as métricas que utiliza. O quadro 1, a seguir, mostra uma rápida comparação entre os trabalhos citados e o trabalho aqui proposto de acordo com seu uso, tecnologia utilizada e a função que realiza.

Quadro 1 – Comparação entre os trabalhos relacionados e a solução proposta

Trabalhos	Uso	VANETs	Geolocalização	Coleta e Envio de Dados
Solução Proposta	Inferência de Culpa	Sim	Sim	Sim
<i>Vehicle data recorder</i> (RAYNER, 2002)	Alerta e Prevenção	Não	Sim	Apenas Coleta
<i>Vehicle Crash data Recorder</i> (FERGUSON, 2001)	Alerta e Prevenção	Não	Sim	Apenas Coleta
<i>Vehicle event recorder systems and networks having integrated cellular wireless communications systems</i> (PLANTE, 2017)	Alerta e Prevenção	Não	Sim	Sim
<i>Traffic monitoring and incident detection through VANETs</i> (FELICE et al., 2014)	Alerta e Prevenção	Sim	Não	Não
<i>A VANET-based emergency vehicle warning system</i> (BUCHENSCHWEIT et al., 2009)	Alerta e Prevenção	Sim	Sim	Não
<i>Bosch Crash Data Retrieval Tool</i> (<i>Crash Data Group Inc</i> , 2018)	Reconstrução de Acidentes	Desconhecido	Desconhecido	Apenas Coleta

Fonte: Elaborada pelo autor.

5 PROPOSTA

Nesta Seção fazemos uma descrição da solução proposta. Também fazemos uma descrição dos métodos utilizados para a construção e a implementação.

5.1 Etapas

As etapas de execução dos processos para inferência de culpabilidade são divididas em alguns tópicos: Gravação dos Dados; Métricas; Envio dos Dados (Comunicação); Simulação

5.1.1 Gravação de Dados

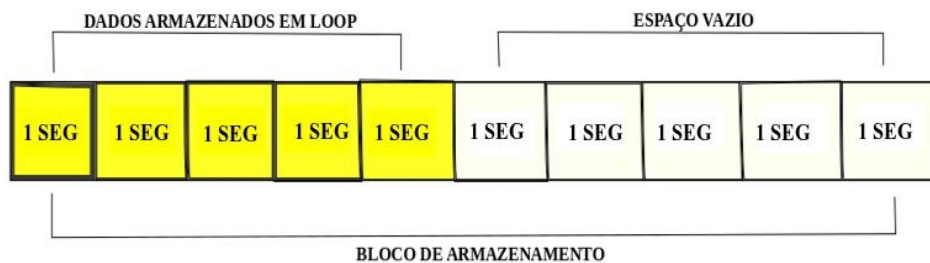
A detecção dos acidentes se dará por meio de sensores de vibração e impacto associados ao dispositivo EDR; sendo o sentido do trajeto do veículo importante para a definição do tipo do acidente. Dispositivos GPS também estarão instalados no veículo. A ativação dos sensores é definida por meio de uma faixa de sensibilidade que é específica de cada modelo podendo, em alguns modelos, ser calibrada de acordo com a necessidade. O acionamento deste dispositivo servirá de gatilho para o *tempus collectio*, o que definirá o evento como um acidente.

Uma vez que utilizamos simuladores, um algoritmo inserido na simulação fará o papel de sensor, detectando a colisão entre os nós (veículos).

Baseado na patente de Plante (2017), as informações são armazenadas dentro do dispositivo em modo de *loop*, guardando as informações requeridas em 5 espaços de 1 segundo dentro de um bloco de 10 segundos; as informações nos 5 espaços são constantemente sobrescritas, um espaço de 5 segundos dentro do bloco permanece vazio. Quando o gatilho é iniciado, as informações armazenadas nos 5 espaços ficam gravadas, os 5 segundos restantes do bloco de 10 segundos que antes estavam vazios agora passam a gravar informações após o evento. Depois que a informação é enviada, os 5 espaços de 1 segundo retornam ao *loop* e o espaço de 5 segundos volta a ficar vazio. As informações

coletadas nos espaços de tempo são: velocidade, aceleração, movimentos de frenagem, geolocalização no tempo de coleta, data do evento, hora extensa (horas, minutos e segundos) exata da colisão.

Figura 5 – Bloco de armazenamento no veículo.



Fonte: Elaborada pelo Autor.

O número do chassi do veículo é anexado ao cabeçalho dos pacotes enviados, como uma informação extra, no fim do processo, para permitir a identificação única de cada veículo. Para este trabalho, visto que utilizamos simuladores ao invés de cenários reais, as informações coletadas para cada veículo são: velocidade no eixo X, velocidade no eixo Y, posição no eixo X, posição no eixo Y, tempo. Onde a informação é dividida por unidade de tempo no “*tempus collectio*”.

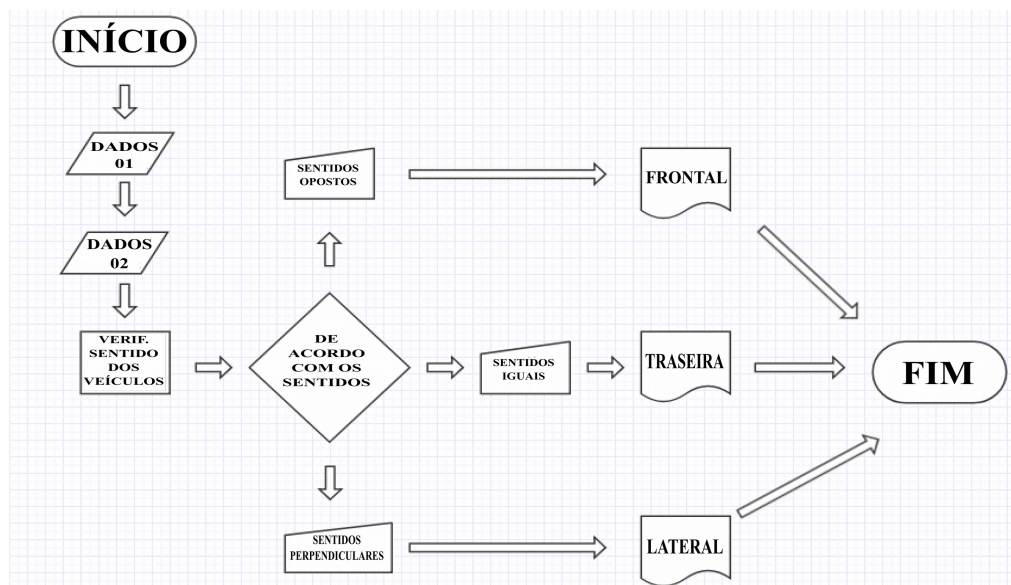
5.1.2 Métricas

Num primeiro momento é necessário descobrir qual o tipo de colisão. Para este fim, nós utilizamos uma análise das informações de sentido de cada veículo no “*tempus collectio*”. Para inferência da culpa são definidas métricas específicas para cada tipo de colisão. No entanto, é importante salientar que a solução proposta não considera normas de

trânsito específicas de trânsito como preferência ou avanço de sinal, sendo assim, por padrão caso algum veículo diretamente envolvido esteja incorrendo em infração decorrente de imprudência ou imperícia em detrimento dos outros, isto não é verificado. Por exemplo, o veículo diretamente envolvido com velocidade acima do permitido deveria ser tido como culpado, caso os outros diretamente envolvidos estejam dentro da velocidade permitida, no entanto esta análise não realiza esta diferença. Pretende-se realizar este tipo de aprimoramento em trabalhos futuros.

Para uma melhor entendimento da execução, o fluxograma abaixo, nomeado “Algoritmo de Tipo de Colisão”, demonstra, de modo simplificado, os passos executados para definição do tipo de colisão.

Figura 6 – Fluxograma do Algoritmo de Tipo de Colisão.



Fonte:

Elaborada pelo Autor.

Depois de definido o tipo de colisão são utilizadas algumas regras de análise das informações para definir o culpado pela colisão. Considerando situações onde a colisão é iminente, a figura 7, a seguir, traz uma tabela com as informações necessárias para definição do tipo de colisão e o que deve ser observado para cada tipo de colisão, a fim de definir o culpado do acidente.

Outro fator verificado, é o sentido dos veículos. Utilizando a velocidade de cada veículo em cada eixo (X e Y), é possível determinar em um plano cartesiano para qual sentido o veículo está se movendo. Utilizando-se dessa informação são determinados status para o sentido, e uma mudança repentina desse status representa uma mudança brusca de sentido.

Figura 7 – Tipos de colisão.

TIPOS DE COLISÃO	Traseiras	Frontais	Laterais
DADOS NECESSÁRIOS			
Quantidade de veículos para cada impacto	Dois ou mais	Dois ou mais	Dois ou mais
Permanência de sentido	Veículos no mesmo sentido.	Veículos em sentidos opostos	Veículos em sentidos perpendiculares
Mudança de sentido ou posição	Mudança brusca que afete outros veículos	Mudança brusca que afete outros veículos	Mudança brusca que afete outros veículos
Manobras de frenagem	Manobras bruscas indevidas	Não realização de frenagem	Não realização de frenagem
Velocidade de cada veículo	Aumento ou não diminuição ou redução brusca	Aumento ou não diminuição de velocidade	Aumento ou não diminuição de velocidade
Aceleração de cada veículo	Aumento ou redução repentina	Aumento ou não redução de aceleração	Aumento ou não redução de aceleração
Posição imediatamente anterior ao evento	Proximidade exagerada	Invasão de pista contrária	Não é considerado
Momento de cada impacto	Verificação do causador do primeiro impacto	Verificação do causador do primeiro impacto	Verificação do causador do primeiro impacto

Fonte: Elaborada pelo Autor.

O veículo tido como causador em uma colisão traseira é aquele que incorrer ou levar outros a incorrerem em duas ou mais das situações descritas abaixo:

- a) Manobras de frenagem bruscas indevidas, levando o veículo que está atrás a colidir mesmo guardada uma certa distância de segurança, nas simulações isto é representado por redução brusca de velocidade;
- b) Aumento, não diminuição ou redução brusca de velocidade, quando veículos à frente já estão parados ou reduzindo a velocidade, ou em casos de haver quaisquer outros obstáculos à frente, nas simulações isto é representado por manutenção de velocidade;

c) Aumento ou redução de aceleração de modo repentino, nas simulações são representados, respectivamente, aumento de velocidade e redução brusca de velocidade;

d) Posição do veículo com proximidade exagerada a outro veículo pelo trânsito na via, registrado durante “*tempus collectio*”, na simulação não existe representação para esta proximidade;

e) Mudança brusca de sentido na via ou de posicionamento, quando afeta outros veículos, nas simulações é representado por mudança brusca de sentido.

Em caso de colisão lateral, onde o veículo tido como causador é aquele que incorrer ou levar outros a incorrerem em situações como:

a) Mudança repentina de sentido, indo em direção ao outro veículo, na simulação é representado por mudança de sentido quando os veículos ficam opostos ou semiopostos no momento da colisão;

b) Aumento ou não diminuição de velocidade quando estiver indo em direção ao outro veículo parado ou em movimento, na simulação isto é representado por aumento ou manutenção de velocidade;

c) Mudança brusca de sentido ou de posicionamento na via, quando afeta outros veículos, na simulação é representado por mudança brusca de sentido.

d) O último caso é o de colisão frontal. Neste trabalho não são desenvolvidos cenários de colisões frontais, mas vamos descrever as métricas para fins de melhor entendimento das mesmas nos outros tipos de colisão, bem como para fins de referência para trabalhos futuros. O culpado é aquele que incorrer ou levar outros a incorrerem em situações como:

e) Mudança repentina de sentido, indo em direção ao outro veículo;

f) Aumento ou não diminuição de velocidade quando estiver indo em direção ao outro veículo parado ou em movimento;

g) Mudança brusca de sentido ou de posicionamento na via, quando afeta outros veículos.

5.1.3 Envio dos Dados (Comunicação)

Para envio dos dados utilizamos VANETs, mais precisamente o padrão IEEE 802.11p. Adotamos uma abordagem híbrida que permite a comunicação através de V2V e V2I. Quando o acidente é detectado, é definido um perímetro em 200 metros quadrados, por meio de dispositivos GPS. Então os veículos cujos sensores são ativados realizam um broadcast aos veículos localizados no perímetro para que todos retornem com suas informações. Dessa forma identifica-se quais veículos estão envolvidos diretamente ou indiretamente na colisão. Esse broadcast já contém algumas informações, como hora exata da colisão e data do evento. As informações são utilizadas pelos veículos colididos para definição do culpado. Levando em conta que o algoritmo trabalha da mesma forma em ambos os veículos, os dois apontam para o mesmo culpado. Assim, traz redundância à informação.

Em outro momento pretendemos aprimorar este processo adicionando uma etapa de envio das informações a um banco de dados em nuvem. Dessa forma tanto os envolvidos quanto os órgãos interessados terão acesso aos resultados da inferência de culpabilidade.

5.2 Ordem dos Processos

Resumindo o que foi explicado anteriormente, no uso da solução, os processos que o compõem são aplicados seguindo uma cronologia. O primeiro momento é o de detecção da colisão por meio dos sensores de impacto e vibração, neste trabalho isto é feito através de um algoritmo como tratado anteriormente. Em seguida é enviada uma requisição *broadcast* por meio de VANETs aos veículos no perímetro para que também retornem suas informações aos veículos colididos. O próximo passo é o armazenamento dessas

informações pelos veículos colididos. Depois de recebidos e organizados na nuvem os dados passarão pela primeira métrica que definirá qual o tipo de colisão. Depois de definido o tipo de colisão, as devidas técnicas forenses de reconstrução de eventos são aplicadas, a fim de definir o veículo causador (culpado) do acidente, finalizando os procedimentos. A figura 8, a seguir, trás uma representação da sequência de passos seguida pela solução proposta.

Figura 8 – Ordem dos Processos.



Fonte: Elaborada pelo Autor

5.3 Adaptações para Simulação

As métricas aqui expostas, são aplicadas conforme bases estabelecidas pelas técnicas forenses de reconstrução de acidentes descritas em Franck e Franck (2009). Este trabalho faz uma adaptação dessas técnicas a fim de simplificá-las para que possam ser aplicadas automaticamente, uma vez que terá a disposição uma boa gama de informações. Neste trabalho não trabalhamos com cenários reais, por isso, é necessário que sejam feitas adaptações de algumas métricas para uso nos simuladores.

O simulador de mobilidade SUMO (Krajzewicz et al. 2002) trata o tempo de maneira diversa, através de saltos entre as unidades de tempo. Dessa forma o tempo de

simulação é curto, bem como o trânsito dos nós é visualmente mais rápido. Assim sendo, em vez de 10 segundos de *tempus collectio*, utilizamos dez unidades de tempo do simulador. Para fins de armazenamento utilizamos um tipo de lista da linguagem de programação “C++”, o “MAP”, que nos permitiu guardar os dados de cada unidade de tempo.

Na determinação do tipo de colisão é definido um algoritmo que realiza o cálculo dos ângulos entre os veículos, utilizando a informação das velocidades nos eixos. Através do quociente da divisão da velocidade no eixo Y pela velocidade no eixo X:

$$\tan = V_y / V_x$$

Em seguida é calculado a diferença entre estes ângulos:

$$\text{dif.ang} = 180 - \text{abs}(\text{abs}(a1 - a2) - 180)$$

A função “abs” retorna o valor absoluto, e “a1” representa o tangente do primeiro veículo e “a2” representa a tangente do segundo veículo. Com o resultado da diferença entre os ângulos dos veículos é definido que: resultado menor ou igual a 40 identifica uma colisão traseira, visto que se aproxima de 0 grau; resultado superior a 40 e inferior à 140, identifica uma colisão lateral; por último, o resultado superior à 140 identifica uma colisão frontal, visto que se aproxima de 180 graus.

Para definição do tipo de culpado nos casos de colisão traseira e colisão lateral, algoritmos são definidos utilizando as informações das velocidades nos eixos de modo a determinar status para os seguintes fatores determinantes: velocidade e sentido.

No fator velocidade é precisa unificar a velocidade do veículo a partir das velocidades nos eixos. Para isso é utilizada a fórmula:

$$|V| = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

Esse cálculo é realizado em todas as unidades de tempo da simulação. Dessa forma é possível verificar através das diferenças entre as velocidades nos tempos os status para velocidade desses veículos. Os status são: aumento, redução gradual, redução brusca, mantendo e parado. Essas adaptações são realizadas na tentativa de substituir o uso de dispositivos sensores de impacto e dispositivos de geolocalização.

6 METODOLOGIA

Nesta Seção são definidos o modo de realização dos testes, os passos de execução deste trabalho e cronograma.

6.1 Testes e Simuladores

Nosso objetivo, nestes testes, é mostrar a efetividade do trabalho aqui proposto, uma vez que utiliza uma gama maior de informações. Assim sendo identifica situações que podem ser difíceis de serem interpretadas até mesmo visualmente. Os simuladores utilizados, são o NS-3 (RILEY; HENDERSON, 2010), simulador de redes, e o SUMO (KRAJZEWICZ et al., 2002), simulador de mobilidade urbana que já são mencionados anteriormente neste trabalho. Como os nomes referem-se, o NS-3 é responsável pelas redes de comunicação e o SUMO pela mobilidade dos nós, dando a sensação de uma abordagem mais realística.

Inicialmente são criados cenários de colisão utilizando o SUMO. Este simulador, através da junção de arquivos, permite a visualização do cenário em sua interface. Cada arquivo tem uma função específica como criação das vias, inserção dos veículos, manipulação de semáforos, definição de rotas dos veículos, etc. Um cenário base, com 8 pontos e 12 pontes para ligá-los, foi criado. Neste cenário são inseridos veículos e definidas rotas para os mesmos.

Os cenários do SUMO são convertidos, através de ferramentas do próprio simulador, para o simulador NS-3. O arquivo "ns2mobility.tcl" contém de toda a

mobilidade dos nós (veículos) no cenário de modo que o NS-3 possa interpretar, assim, essa mobilidade pode ser incrementada com as configurações de rede pelo NS-3.

As análises e testes que são realizados, terão como objetivo inferir a culpa de modo correto em todos os casos. Além disso, deseja-se atestar que a solução proposta é mais assertiva do que uma avaliação apenas visual da colisão no que diz respeito a inferência de culpabilidade, visto que analisa informações mais precisas.

6.2 Simulações e Algoritmos

A fim de criar colisões, são definidos 30 cenários diferentes, onde as rotas dos veículos e os parâmetros dos mesmos são alteradas de modo diverso a fim de propiciar comportamentos que levem às colisões. Além disso a quantidade de veículos variou entre 8, 16, 24 e 32 veículos. A quantidade de veículos também influenciou para ocorrência de novas colisões. Dessa forma os cenários representam dois tipos de colisões, traseira e lateral, sendo que nenhum cenário é igual ao outro. Os veículos são considerados com tendo massa constante, visto que no simulador apresentam o mesmo tamanho e forma.

A simulação no NS-3 utiliza VANET's, através de módulos de rede sem fio, para fins de representação de conectividade entre os veículos. Essa comunicação será melhor abordada em um trabalho futuro.

Na simulação do NS-3, por meio da linguagem de programação "C++", além das definições de rede, foi inserido um algoritmo que auxilia na obtenção das informações dos veículos, bem como no armazenamento dessas informações. As informações de velocidade nos eixos X e Y, tempo e posição nos eixos X e Y são armazenadas por meio de uma função de lista do "C++" chamada "MAP", que já foi mencionada anteriormente.

Na simulação do NS-3 essas informações são utilizadas na detecção da colisão, por meio do vetor velocidade e o posicionamento nos eixos. Em um segundo momento na simulação as informações de velocidade nos eixos permitem definir o ângulo entre os veículos. Dessa forma é feita a definição do tipo de colisão.

As mesmas informações armazenadas são utilizadas para definição da culpa. São criados dois algoritmos, um para colisão traseira e outro para colisão lateral. Os algoritmos são desenvolvidos utilizando de linguagem de programação "python", e define

a culpa por meio de um encadeamento de condições. As condições são criadas tendo por base as métricas tratadas na seção 5.1.4 deste mesmo trabalho. Uma vez que a simulação do NS-3 já define qual o tipo de colisão, basta aplicar o algoritmo para o tipo de colisão desejado nas informações colhidas.

O algoritmo para colisão traseira utiliza a velocidade absoluta do veículo nos 3 tempos anteriores a colisão. A partir daí define um status dessa velocidade e por meio deste status podemos dizer o causador da colisão.

O algoritmo para colisão lateral também utiliza a velocidade absoluta para o mesmo fim do algoritmo anterior, no entanto a mesma informação é utilizada para definir um status para o sentido em que o veículo trafega. Dessa forma é possível verificar se o veículo realizou algum tipo de mudança brusca de sentido.

Através destes status e das estruturas condicionais definidas de acordo com as métricas expostas anteriormente pode-se inferir o culpado para os dois tipos de colisão. Para cada cenário temos como resposta a cor do veículo causador da colisão, a cor do outro veículo e qual o status de velocidade de cada um, se aumentando velocidade, redução gradual de velocidade, redução brusca de velocidade, mantendo velocidade ou parado (velocidade igual 0 nos 3 tempos observados). Para as colisões laterais temos ainda informação do status de mudança de sentido que diz se houve ou não mudança de sentido durante o tempo analisado.

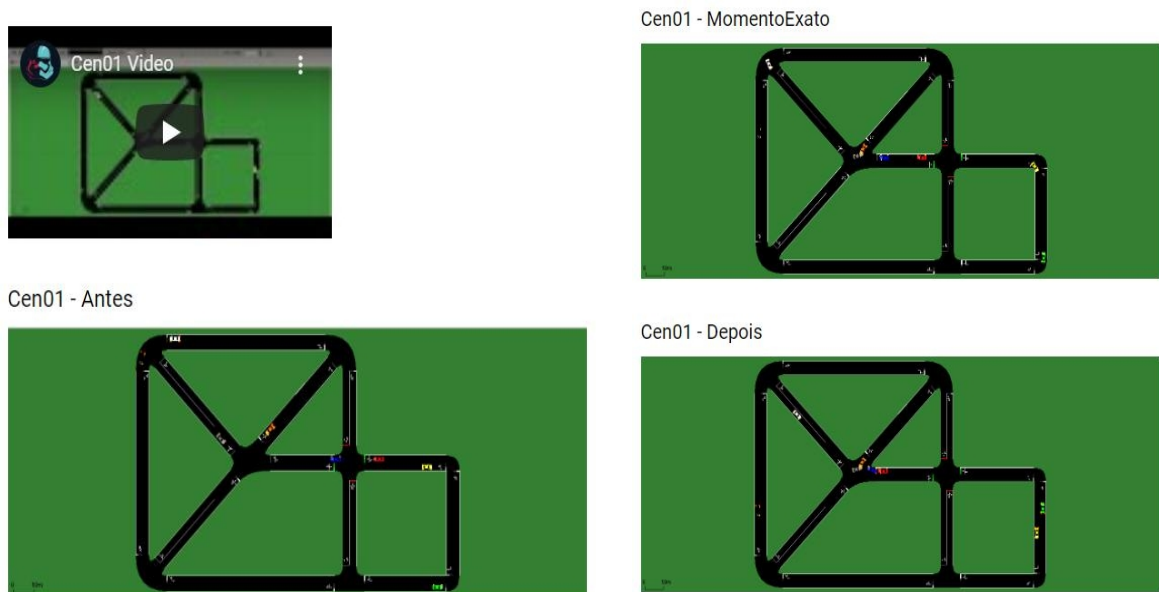
Para este trabalho não analisamos regras específicas de trânsito, como contramão ou preferência na via, tendo os dois veículos os mesmos resultados consideraremos os dois como culpados. Dessa forma definimos nos algoritmos de culpabilidade para colisão lateral e colisão traseira, que para os casos em que os veículos apresentem todos os status exatamente iguais, o retorno dos algoritmos será “impossível determinar”, e os status dos veículos envolvidos na colisão.

6.3 Questionário

Foi desenvolvido um questionário, através da ferramenta “Google Formulários”, que permite avaliar por meio de fotos e vídeos dos cenários quem é o causador da colisão.

Para definir o culpador o questionário apresenta para cada cenário o vídeo completo da simulação, além de 3 imagens em diferentes tempos da simulação: antes, momento e exato e depois. Na imagem “antes” é utilizado o tempo 3 saltos anterior à colisão; na imagem “depois” é utilizado o tempo 3 saltos depois da colisão; na imagem “momento exato” é utilizado, como diz o nome, o tempo exato da colisão. A seguir as figuras exemplificam como é estruturado o questionário.

Figura 9 – Vídeo do cenário e imagens da colisão conforme apresentada no questionário.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 10 – Imagem das perguntas feitas para cada cenário conforme apresentada no questionário.

01) Considerando a análise dos arquivos do cenário 01 "Cen01 - MomentoExato", "Cen01 - Depois" e "Cen01 - Video"; a colisão de interesse é de qual tipo?

- Colisão Frontal
- Colisão Lateral
- Colisão Traseira

02) Considerando a análise dos arquivos do cenário 01 "Cen01 - Antes", "Cen01 - MomentoExato", "Cen01 - Depois" e "Cen01 - Video"; qual o veículo causador da colisão?

- Veiculo Laranja
- Veículo Cinza
- Impossível Determinar

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Após avaliar os vídeos e imagens, para definir o culpado o avaliador especialista deve responder as seguintes perguntas de múltipla escolha para cada cenário: “Considerando a análise dos arquivos do cenário... a colisão de interesse é de qual tipo?” e “Considerando a análise dos arquivos do cenário... qual o veículo causador da colisão?”. As opções para as respostas da primeira pergunta são colisão frontal, colisão lateral e colisão traseira. As opções para a resposta da segunda pergunta são a cor do veículo envolvido, a cor do outro veículo envolvido, ou impossível determinar. Esta última resposta serve para os casos em que o avaliador entenda que uma avaliação visual não é suficiente para definir o culpado ou caso onde ele avalie que houve causa concorrente, ou seja, os dois veículos são igualmente causadores. O especialista, Engenheiro de Transportes da Autarquia Municipal de Trânsito (AMC) de Fortaleza, e o especialista, Perito Criminal, responderam o questionário.

Para avaliação deste trabalho, foi realizada uma comparação de resultados. Munido das informações os algoritmos são devidamente aplicados e seus resultados são comparados às respostas dos especialistas no questionário. O que se busca é atestar o funcionamento dos algoritmos de acordo com as métricas preestabelecidas. Busca-se também, verificar a assertividade dos algoritmos em relação à opinião dos especialistas. Dessa forma será possível observar a necessidade de melhorias nos algoritmos a fim de torná-los cada vez mais assertivos.

7 RESULTADOS

Nesta Seção são apresentados os resultados da simulação. É exposta a comparação entre os culpados obtidos pela aplicação dos algoritmos e os culpados obtidos pela avaliação realizada pelo especialista. Além disso é feita uma análise dos resultados obtidos, apresentando as conclusões obtidas desta análise

7.1 Comparação de Resultados

Dada a limitação do uso de simuladores para a avaliação dos 30 cenários selecionamos, com base na bibliografia utilizada, dois fatores, que nos algoritmos se apresentam na forma de status, como tratado na seção anterior. Estes fatores, separadamente ou em conjunto, são determinantes para definição do culpado: velocidade dos veículos e sentidos dos veículos. Este último é usado tanto na definição do tipo de colisão como na definição do culpado, como exposto anteriormente. Definidos os tipos de colisão e com base nestes fatores são obtidos os resultados para os cenários.

Os algoritmos de definição de tipo de colisão ainda require aprimoramento, o que será visto em trabalho futuro. Dessa forma as métricas definidas são observadas e é feita uma análise empírica para definição do tipo de colisão, e só então aplicados os algoritmos de definição de culpabilidade. Observando estas informações a tabela abaixo (figura 11) expõe os resultados para o questionário, no que condiz ao tipo de colisão, apenas em relação à opinião dos avaliadores.

A tabela abaixo (figura 12) traz a comparação dos resultados. Na tabela podemos observar o número do cenário, o tipo de colisão, o culpado conforme a aplicação dos algoritmos, o culpado conforme o questionário na avaliação do primeiro especialista e o culpado conforme questionário na avaliação do segundo especialista. Além disso é possível observar o fator determinante para definição do culpado de acordo com os algoritmos aqui definidos. Neste último, o fator determinante. Nesta tabela também é possível observar em cor verde os cenários onde a opinião pelo menos um dos avaliadores coincidiu com o resultado obtido através dos algoritmos. Em vermelho estão marcados os cenários onde os resultados dos algoritmos não coincidiram com nenhum dos avaliadores. Não existir ainda cenários representados na tabela, onde os 3 resultados são concordantes.

Figura 11 – Comparação de Resultados de Tipos de Colisão.

TABELA COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

Nesta tabela é demonstrada a opinião dos avaliadores especialistas acerca dos tipos de colisão dos cenários.

Cenário	ESPECIALISTA 01	ESPECIALISTA 02
1	COLISÃO FRONTAL	COLISÃO FRONTAL
2	COLISÃO LATERAL	COLISÃO LATERAL
3	COLISÃO LATERAL	COLISÃO FRONTAL
4	COLISÃO LATERAL	COLISÃO LATERAL
5	COLISÃO LATERAL	COLISÃO LATERAL
6	COLISÃO LATERAL	COLISÃO LATERAL
7	COLISÃO LATERAL	COLISÃO LATERAL
8	COLISÃO FRONTAL	COLISÃO LATERAL
9	COLISÃO FRONTAL	COLISÃO LATERAL
10	COLISÃO LATERAL	COLISÃO LATERAL
11	COLISÃO LATERAL	COLISÃO LATERAL
12	COLISÃO LATERAL	COLISÃO LATERAL
13	COLISÃO LATERAL	COLISÃO LATERAL
14	COLISÃO LATERAL	COLISÃO LATERAL
15	COLISÃO FRONTAL	COLISÃO LATERAL
16	COLISÃO LATERAL	COLISÃO LATERAL
17	COLISÃO LATERAL	COLISÃO FRONTAL
18	COLISÃO LATERAL	COLISÃO LATERAL
19	COLISÃO LATERAL	COLISÃO LATERAL
20	COLISÃO LATERAL	COLISÃO FRONTAL
21	COLISÃO LATERAL	COLISÃO TRASEIRA
22	COLISÃO LATERAL	COLISÃO TRASEIRA
23	COLISÃO FRONTAL	COLISÃO TRASEIRA
24	COLISÃO TRASEIRA	COLISÃO TRASEIRA
25	COLISÃO TRASEIRA	COLISÃO TRASEIRA
26	COLISÃO TRASEIRA	COLISÃO TRASEIRA
27	COLISÃO LATERAL	COLISÃO TRASEIRA
28	COLISÃO TRASEIRA	COLISÃO TRASEIRA
29	COLISÃO TRASEIRA	COLISÃO TRASEIRA
30	COLISÃO TRASEIRA	COLISÃO TRASEIRA

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Figura 12 – Comparação de Resultados de Culpabilidade.

TABELA COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

Nesta tabela é demonstrada a opinião dos avaliadores especialistas acerca dos culpados nas colisões e o resultado obtido pela aplicação dos algoritmos.

Cenário	Fator Determinante	Algoritmos de Culpabilidade	Especialista 01	Especialista 02
1	SENTIDO E VELOCIDADE	CINZA	CINZA	LARANJA
2	SENTIDO E VELOCIDADE	IMP. DE TERMINAR	LARANJA	LARANJA
3	SENTIDO	VERMELHO	VERMELHO	VERMELHO
4	SENTIDO E VELOCIDADE	VERMELHO	VERMELHO	VERMELHO
5	SENTIDO E VELOCIDADE	VERMELHO	IMP. DE TERMINAR	CINZA
6	SENTIDO E VELOCIDADE	PRETO	AZUL	PRETO
7	VELOCIDADE	VERDE	VERDE	VERDE
8	SENTIDO E VELOCIDADE	VERDE	IMP. DE TERMINAR	VERDE
9	SENTIDO E VELOCIDADE	IMP. DE TERMINAR	BRANCO	BRANCO
10	SENTIDO E VELOCIDADE	IMP. DE TERMINAR	AMARELO	AMARELO
11	VELOCIDADE	AMARELO	AMARELO	VERDE
12	VELOCIDADE	VERDE	VERDE	VERDE
13	SENTIDO E VELOCIDADE	IMP. DE TERMINAR	LARANJA	LARANJA
14	SENTIDO E VELOCIDADE	BRANCO	IMP. DE TERMINAR	BRANCO
15	VELOCIDADE	AZUL	AZUL	IMP. DE TERMINAR
16	SENTIDO E VELOCIDADE	BRANCO	AMARELO	BRANCO
17	SENTIDO E VELOCIDADE	VERMELHO	BRANCO	BRANCO
18	VELOCIDADE	CINZA	IMP. DE TERMINAR	CINZA
19	SENTIDO E VELOCIDADE	BRANCO	LARANJA	LARANJA
20	SENTIDO E VELOCIDADE	PRETO	LARANJA	IMP. DE TERMINAR
21	VELOCIDADE	BRANCO	IMP. DE TERMINAR	BRANCO
22	VELOCIDADE	AMARELO	IMP. DE TERMINAR	BRANCO
23	VELOCIDADE	VERMELHO	VERDE	VERMELHO
24	VELOCIDADE	VERMELHO	VERMELHO	VERMELHO
25	VELOCIDADE	BRANCO	BRANCO	BRANCO
26	VELOCIDADE	CINZA	CINZA	CINZA
27	VELOCIDADE	AZUL	VERMELHO	AZUL
28	VELOCIDADE	VERDE	VERDE	VERDE
29	VELOCIDADE	AZUL	AZUL	AZUL
30	VELOCIDADE	PRETO	PRETO	PRETO

Fonte: Elaborada pelo Autor.

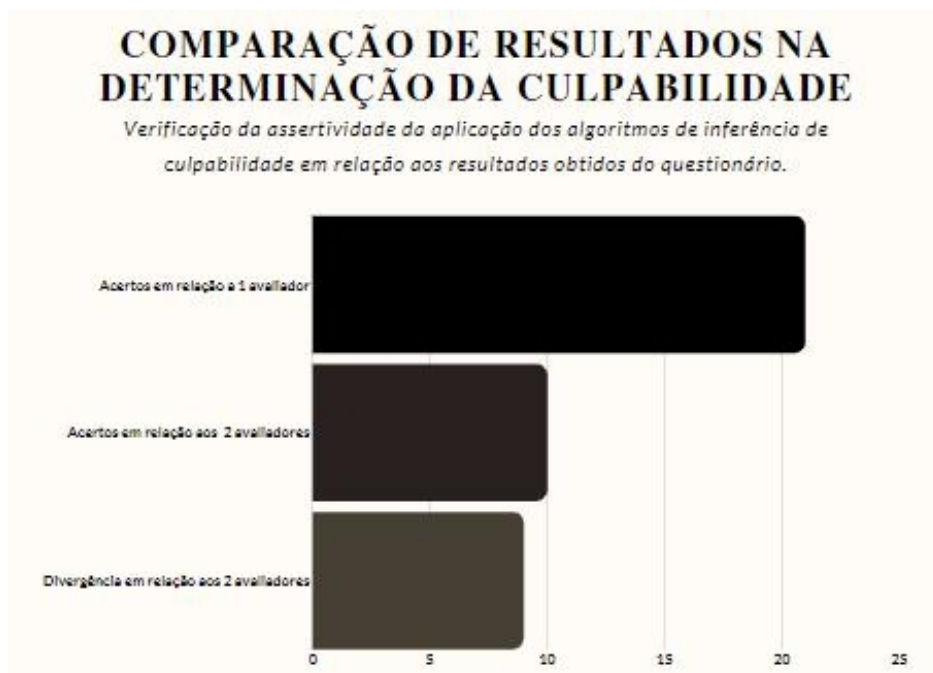
O gráfico abaixo (figura 13) faz uma comparação mais precisa acerca dos resultados obtidos na inferência de culpabilidade. São tratados os resultados dos algoritmos em relação ao questionário, apresentando uma comparação entre os cenários que têm acertos em relação a pelo menos um dos avaliadores especialistas; os cenários em que os algoritmos obtêm convergência em relação aos resultados dos dois avaliadores. Também são tratados os cenários em que acontecem divergência entre os resultados do questionário e dos algoritmos.

7.2 Análise dos Resultados

Analisando os resultados é possível chegar a algumas conclusões que atestam a necessidade da solução proposta na definição de culpa em colisões traseiras e em colisões laterais.

De um total de 30 cenários, observando os resultados do questionário, em 8 cenários os avaliadores divergem quanto ao tipo de colisão. Sendo que na maior parte a divergência é entre colisões frontais e colisões laterais.

Figura 13 – Gráfico de Comparação de Resultados de Culpabilidade.



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Na análise dos cenários, os algoritmos são capazes de definir culpado em 15 cenários apenas analisando o fator velocidade, na maioria em colisões traseiras. Os algoritmos são capazes de definir culpado em 14 cenários, utilizando os dois fatores, velocidade e sentido, todos colisões laterais. Em apenas 1 cenário os algoritmos são capazes de definir culpado observando apenas o fator sentido, uma colisão lateral.

Através do gráfico é possível perceber uma assertividade dos algoritmos em mais de 20 cenários em relação à opinião de pelo menos 1 avaliador. Em pouco menos de 10 cenários essa assertividade é em relação à opinião de ambos os especialistas, sendo

superior ao número de cenários onde existe uma divergência entre os resultados do questionário e da aplicação dos algoritmos.

É possível concluir também, que para uma maior assertividade entre os resultados dos algoritmos e os resultados do questionário, até mesmo para um maior convergência entre as opiniões dos especialistas, é necessário que os mesmos tenham acesso a uma gama maior de informações. Estas informações, as quais são acessadas pelos algoritmos nos simuladores, são velocidades, sentidos e os status das mesmas, a fim de que seja melhor interpretado o comportamento de cada veículo no “*tempus collectio*”.

Segundo o especialista, Sr. Caio Assunção Torres, “Falta de informação do comportamento do condutor é uma limitação da determinação da culpa”.

8 CONCLUSÃO

Diversos trabalhos apontam o uso das tecnologias apresentadas (VANETs, EDR) de forma a evitar acidentes, ou alertar autoridades competentes quando estes eventos ocorrem. O diferencial desta proposta em relação aos trabalhos relacionados, se deve ao fato de dar foco ao momento após o evento, diminuindo a burocracia para soluções de certas disputas, uma vez que apontará o causador do acidente de maneira automática.

A avaliação de acidentes de trânsito requer uma gama de informações precisas, de modo a trazer maior certeza na inferência de culpa. Neste trabalho verifica-se, realizando uma comparação entre a avaliação realizada de modo exclusivamente visual, por meio de imagens e vídeos, e a avaliação dos cenários por meio da aplicação dos algoritmos nas informações advindas diretamente dos simuladores, que diferentes métodos e opiniões podem divergir na definição da culpa. No entanto pode-se afirmar que velocidade e sentido são fatores determinantes na definição da culpabilidade e que a utilização destas informações pode inferir corretamente a culpa, mesmo sem auxílio visual. É possível afirmar que uma maior quantidade de dados possibilitará uma maior convergência nos resultados.

Apesar de requerer aprimoramento e a inserção de uma quantidade maior de dados, os algoritmos aqui propostos foram capazes de determinar corretamente a culpa em

cenários de colisões laterais e de colisões traseiras, levando-se em conta a opinião dos especialistas. Observando os algoritmos propostos, os resultados também demonstram que é possível criar algoritmos que realizem o mesmo procedimento em colisões frontais.

Desconsiderando quesitos jurídicos (relacionados à leis constitucionais e leis de trânsito) e econômicos (como custos de produção e tributação) o uso desta solução traria grande ganho social. Seriam observadas vantagens no que diz respeito à segurança do usuário, praticidade e economia com custas processuais. Conclui-se que, existe uma necessidade real para este tipo de solução.

9. TRABALHOS FUTUROS

O principal objetivo deste trabalho é, por meio da análise aqui realizada, trazer uma base para a criação de uma ferramenta que possa solucionar questões de inferência de culpa em acidentes de trânsito.

Os resultados aqui obtidos servirão de alicerce para a transformação de métodos utilizados por perícia forense, em uma ferramenta automática. As contribuições deste trabalho abrem possibilidade para criação dos seguintes trabalhos:

- 1) Análise utilizando os mesmos critérios para cenários envolvendo colisões frontais e fornecendo uma gama maior de informações dos veículos no questionário;
- 2) Aprimoramento dos algoritmos utilizando o conceito de momento de modo a tornar mais precisa a definição do tipo de acidente e culpabilidade;
- 3) Realização de testes envolvendo dispositivos VANET's e Veículos em cenários reais;
- 4) Criação de interface para acesso aos resultados das inferências de culpa pelas partes interessadas;
- 5) Ampliação dos tipos de veículos amparados pela solução;

6) Aprimoramento do envio de mensagens por meio de VANET's para esta solução a fim de evitar a perda de dados.

REFERÊNCIAS

- ALVES, R. d. S.; CAMPBELL, I. d. V.; COUTO, R. d. S.; CAMPISTA, M. E. M.; MORAES, I. M.; RUBINSTEIN, M. G.; COSTA, L. H. M.; DUARTE, O. C. M.; ABDALLA, M. Redes veiculares: Principios, aplicações e desafios. **Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, SBRC**, p. 17–24, [S.l.], 2009.
- AZEVEDO, A. P. de. Responsabilidade civil em acidentes de trânsito automobilístico—aspectos relevantes da legislação, doutrina e da jurisprudência. **Semina: Ciências Sociais e Humanas**, v. 29, n. 1, p. 61–74, [S.l.], 2008.
- BRASIL, C. C. **Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002**. Institui o Código Civil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, v. 11, 2002.
- BRASIL, C. d. T. B. **Código de trânsito brasileiro**: instituído pela Lei nº 9.503. [S.l.], 2008.
- BUCHENSCHWEIT, A.; SCHAUB, F.; KARGL, F.; WEBER, M. A vanet-based emergency vehicle warning system. In: IEEE. **Vehicular Networking Conference (VNC), 2009 IEEE**. [S.l.], 2009. p. 1–8.
- Kinetcorp Inc. **Event Data Recorder Imaging, 2018**. Disponível em: <http://client.kineticorp.com/event-data-recorder-imaging.aspx>. Acesso em 12 dez 2019.
- Crash Data Group Inc. **Bosch Crash Data Recorder Tool Software**. 2018. Disponível em: <http://www.crashdatagroup.com/>. Acesso em 12 dez 2019.
- FELICE, M. D.; BAIOCCHI, A.; CUOMO, F.; FUSCO, G.; COLOMBARONI, C. Traffic monitoring and incident detection through vanets. In: IEEE. **Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS), 2014 11th Annual Conference on**. [S.l.], 2014. p. 122–129.
- FERGUSON, T. W. **Vehicle crash data recorder**. [S.l.]: Google Patents, 2001. US Patent 6,185,490.
- FRANCK, H.; FRANCK, D. **Mathematical methods for accident reconstruction: a forensic engineering perspective**. [S.l.]: CRC Press, 2009.
- GABLER, H. C.; HINCH, J. A.; STEINER, J. **Event Data Recorder. A Decade of Innovation**. [S.l.: s.n.], 2008.
- HARTENSTEIN, H.; LABERTEAUX, K. **VANET: vehicular applications and inter-networking technologies**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2009. v. 1.
- JIANG, D.; DELGROSSI, L. Ieee 802.11 p: Towards an international standard for wireless access in vehicular environments. In: IEEE. **Vehicular Technology Conference, 2008. VTC Spring 2008. IEEE**. [S.l.], 2008. p. 2036–2040.

KRAJZEWICZ, D.; HERTKORN, G.; RÖSSEL, C.; WAGNER, P. Sumo (simulation of urban mobility)-an open-source traffic simulation. In: **Proceedings of the 4th middle East Symposium on Simulation and Modelling (MESM20002)**. [S.l.: s.n.], 2002. p. 183–187.

PLANTE, J. **Vehicle event recorder systems and networks having integrated cellular wire-less communications systems**. [S.l.]: Google Patents, 2017. US Patent 9,545,881.

RAYNER, G. A. **Vehicle data recorder**. [S.l.]: Google Patents, 2002. US Patent 6,389,340.

RILEY, G. F.; HENDERSON, T. R. The ns-3 network simulator. In: **Modeling and tools for network simulation**. [S.l.]: Springer, 2010. p. 15–34.

TAKEDA, K.; MIYAJIMA, C.; SUZUKI, T.; ANGKITITRAKUL, P.; KURUMIDA, K.; KU-ROYANAGI, Y.; ISHIKAWA, H.; TERASHIMA, R.; WAKITA, T.; OIKAWA, M. et al. Self-coaching system based on recorded driving data: Learning from one's experiences. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, IEEE, v. 13, n. 4, p. 1821–1831, [S.l.], 2012.